文章编号:1004-0609(2010)S1-s0730-04

铁元素对钛合金焊缝组织和性能的影响

蒋 鹏,刘希林,闫飞昊,宋德军

(中国船舶重工集团公司,洛阳 471039)

摘 要:采用不同铁含量的焊丝进行焊接实验,并进行显微组织、硬度、拉伸、冲击、冷弯及耐海水腐蚀等一系 列测试,研究铁元素对焊缝组织和性能的影响。结果表明:铁元素会在焊缝中形成片层状两相组织,该区域显微 硬度高于基体的约 100 HV。2%(质量分数)以下的铁元素不会在焊缝中形成 TiFe 相化合物,焊缝耐海水腐蚀性能 优异,通过合理设计焊丝成分可以达到较好的焊缝性能匹配。

关键词:船用钛合金;焊缝;铁元素

中图分类号:TG146.2 文献标志码:A

Effect of Fe element on microstructure and properties of titanium alloy welding seam

JIANG Peng, LIU Xi-lin, YAN Fei-hao, SONG De-jun

(Luoyang Ship Materials Research Institute, Luoyang 4710391, China)

Abstract: Some welding experiments were designed with different Fe contents of welding wire, and a series of tests on the microstructure, hardness, tensile, impact, cold bend, seawater corrosion resistance were carried out to study the effect of Fe element on the microstructure and properties of welding seam. The results show that the two-phase lamellar structure forms in the welling area, and the hardness of this area is about 100 HV higher than that of the base material. TiFe phase will not be formed at 2%(mass fraction) Fe; the welding seam shows an excellent corrosion resistance in seawater. Through a rational design of welding material, better performance of weld seam can be achieved.

Key words: marine titanium alloy; welding seam; Fe

铁是一种很好的β相稳定元素。在钛合金中加入一 定量的铁,能够降低相变点,稳定β相,提高材料的冷 热加工能力,在很多钛合金中得到了应用。比如航空 用 TB6(Ti10V2Fe3Al)合金中加入 2%(质量分数)的铁, 能够提高热成形能力,非常适合等温锻造和超塑成型 工艺^[1-4]。铁元素在钛合金中可能会偏析而形成"β斑", 也可能形成 TiFe 相,降低材料的疲劳特性^[5]。 Ti50(Ti1Al1.2Fe)合金中含有 1.2%的铁元素,是一种近 *α*相的低成本船用结构钛合金,其冷热成型性优异^[6-8]。 船用钛合金的特点是焊接性要求高^[9],但是在焊缝中, 有关铁元素对焊缝组织和性能的影响的研究较少^[10], 本文作者针对 Ti50 合金研究了铁元素对于焊缝组织

和性能的影响。

1 实验

采用手工 TIG(钨极氩弧焊)焊接方法对 Ti50 合金 20 mm 板材进行焊接工艺试验,实验分别采用 TA2(纯 钛)、Ti0.8Fe0.6Al、Ti2Al 和 Ti2Fe 这 4 种焊丝。采用 金相显微镜观察焊缝的宏观组织,显微硬度仪测试焊 缝及热影响区的 50HV 硬度,Quanta600 扫描电镜分 析焊缝组织和相成分组成,CM200 透射电镜分析晶 界、位错、TiFe 相等缺陷和析出物,天然海水环境下 进行焊缝腐蚀试验。

通信作者: 蒋 鹏, 高级工程师; 电话: 0379-67256041; E-mail: jiangpeng@725.com.cn

2 结果与讨论

2.1 金相组织

4 种不同焊丝焊缝中心区域的金相组织如图 1 和

图 2 所示。由图 2 可以看出:由于 TA2 和 Ti2Al 焊丝 为 α 合金,焊缝中心为 α 单相组织;随着铁含量的增大, 焊缝中心区域的片层状两相组织逐步增多;粗大的 $\alpha+\beta$ 两相片层组织只在焊缝中心区域产生。

图 3 所示为α+β片层组织的扫描电镜照片。对焊 缝组织进行不同区域的显微硬度测定,结果见表 1。

10 um



图 2 Ti50 合金 20 mm 板材焊缝中心组织

Fig.2 Microstructures of central welding seam of Ti50 plate with thickness of 20 mm: (a) TA2; (b) Ti2Al; (c) Ti0.8Fe0.6Al; (d) Ti2Fe



图 3 焊缝中的片层状两相区组织

Fig.3 Lamellar structure of two-phase area of welding seam

表1 焊缝不同区域的显微硬度 HV1N

Table 1 Microhardness $(HV_{1 N})$ of welding seam at differentpositions

Commonant of	$HV_{1 N}$				
wolding wire	H Base	Heat-affected	Welding	Lamellar	
weiding wire		zone	seam	zone	
Ti0.8Fe0.6A1	221	230	234	315	
Ti2Fe	195	210	237	310	
Ti2Al	220	220	215	_	

可以看出:焊缝的硬度变化符合一般规律,即焊缝区 硬度最高,其次为焊缝热影响区,母材硬度最低。值 得注意的是,在焊缝区域中出现大量的α+β片层状组 织,这种组织硬度较母材的组织硬度高 HV100 左右。

图 4(a)所示为焊缝中较粗的β相的 TEM 像,其中 分布着一定量的ω相,会对焊缝的脆性产生影响;图 4(b)所示为β+ω相的衍射花样。在几种不同成分焊丝制 备的焊接接头样品中没有发现 TiFe 相,说明 2%的铁 元素不会在焊缝中形成 TiFe 相化合物。

2.2 力学性能

不同焊丝的金属熔敷试验结果见表 2。可以看出: 铁元素对于强度的贡献最大, TA2 焊丝的强度偏低。

表3所列为几种焊丝焊接Ti50板的焊缝力学性能 试验结果。其中,25mm板材焊后分别从上层和下层 分别取样进行性能分析。综合焊丝熔敷实验和焊缝性 能数据,焊丝的成分设计Ti0.8Fe0.6A1最优,一是合 金成分系相同,避免因为成分不同造成的电位腐蚀倾 向,二是接头塑性较好。

Ti50 试板焊缝接头冲击试样的性能见表 4。采用 两种焊丝焊接的不同板厚焊缝的冲击韧性均良好。

表 5 所列为采用 Ti0.8Fe0.6Al 焊丝焊接的 Ti50 板



图 4 焊缝中β相的 TEM 像及 X 射线衍射样

Fig.4 TEM images of β -phase in welding seam: (a) Coarser β phases; (b) Diffraction pattern of $\beta+\omega$ phases

表 2 焊丝熔敷实验结果

Table 2	Results of	overlay	test of	welding	wire

Welding wire	R _{p0.2} /MPa	<i>R</i> _m /MPa	A/%	Z/%
Ti1.2Fe0.8Al	547	648	22	52
Ti0.8Fe0.6Al	553	632	18	40
Ti2Al	552	602	16	43
Ti2Fe	590	705	15	28
TA2	428	480	17	61

材的焊接接头的冷弯值。可以看出:焊缝的冷弯性能 良好。

2.3 耐蚀性

经过 65 d 天然海水腐蚀试验后,试样表面没有腐 蚀坑。对试验前后的试样进行质量损失测量,计算可

第20卷专辑1

表 3 板材焊缝拉伸性能检验

 Table 3
 Results of tensile test of welding wire

Welding	Thickness/	R _{p0.2} /	$R_{\rm m}/$	4/0/	Welding
wire	mm	MPa	MPa	A/%	coefficient
Ti1.2Fe	4	_	573	_	0.99
0.8A1	10	_	663	_	0.97
	4	-	585	_	0.99
110.8Fe 0.6Al	25,upper	432	522	18	0.90
	25,lower	462	565	16	0.97
	4	-	553	-	0.96
Ti2Al	25,upper	430	529	17	0.91
	25,lower	453	542	16	0.93
TA2	4	_	595	_	0.99

表 4 焊缝的冲击性能

Table 4 Impact property (A_{kv}) of welding seam

Welding wire	Thickness/mm	Position	$A_{ m kv}/{ m J}$
		Upper area,	
		multi-pass	73
T:2 A 1	25	welding	
112AI	23	Lower area,	
		single-pass	78
		welding	
		Upper area, multi-pass	
Ti0.8Fe0.6Al	25	welding	
	25	Lower area,	
	single		77
		welding	
	10	Welding seam	75

表 5 焊接接头的冷弯性能

	O 1 1 1 1		0 1 1	
l'ahla 5	Cold bending	r nronerfier	of welding	101nt
Table 5		2 DIODCINCS	or worume	ionn
		2 F - F		J

Plate type	Front bending	Back bending
4 mm	8a, 180°	8a, 180°
10 mm	8a, 180°	8a, 180°

得 Ti50 合金在天然海水腐蚀环境下的腐蚀速率为 2.51 × 10⁻⁴ mm/a。

3 结论

 1) 铁元素能够显著增强钛合金焊缝的强度,并在 焊缝中形成显微硬度明显高于基体的片层状组织。

2) 当 Ti50 合金的焊接材料中铁的含量小于母材 中铁的含量时, Ti0.8Fe0.6Al 焊丝能够得到综合性能

蒋 鹏,等:铁元素对钛合金焊缝组织和性能的影响

较好焊接接头。

3) Ti50 合金焊缝的耐海水腐蚀性优异,达到 2.51 × 10⁻⁴ mm/a。

REFERENCES

- CHEN C C, BOYER R R. Practical consideration for manufacturing high-strength Ti-10V-2Fe-3Al alloy forgings[J]. Journal of Metals, 1979, 31: 33–39.
- [2] 王美娇. TB6 合金热模锻工艺研究[D]. 洛阳: 中国舰船研究 院, 2010: 56-57.
 WANG Mei-jiao. Research on isothermal-forging of TB6 alloy[D]. Luoyang: Ship Material Research Institute of China.

alloy[D]. Luoyang: Ship Material Research Institute of China, 2010: 56-57.

[3] 赵雪盈. Ti-10V-2Fe-3Al 合金超塑性研究[D]. 西北工业大学, 2003: 65-66.

ZHAO Xue-ying. Research on Superplasticity of Ti-10V-2Fe-3Al[D]. Xi'an: Northwestern University, 2003: 65–66.

- [4] 吕逸凡, 孟祥军, 李士凯. TB6 合金β斑研究进展[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(s3): 544-548.
 LÜ Yi-fan, MENG Xiang-jun, LI Shi-kai. An overview of β fleck in TB6 alloy[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(s3): 544-548.
- [5] BOYER R R. Design properties of a high-strength titanium alloys Ti-10V-2Fe-3Al[J]. Journal of Metals, 1980, 32: 61–65.
- [6] 蒋 鹏,李 梁,哈 军,宋德军.低成本钛合金成分设计计 算[J].稀有金属材料与工程,2008,37(s3):955-958.
 JIANG Peng, LI Liang, HA Jun, SONG De-jun. Component design calculation and preparation of low-cost titanium alloy[J].
 Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(s3): 955-958.
- [7] 李 梁, 蒋 鹏. 钛合金高温压缩道次间软化规律研究[J].
 稀有金属材料与工程, 2008, 37(s3): 335-338.
 LI Liang, JIANG Peng. The softening law of titanium alloy during two-stage hot compression deformations[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(s3): 335-338.
- [8] 李 梁, 蒋 鹏. 钛合金热加工图与显微组织的对应关系[J].
 稀有金属材料与工程, 2008, 37(s3): 346-349.
 LI Liang, JIANG Peng. Correlation of hot processing map and microstructure of Ti-0.8Al-1.2Fe alloy[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(s3): 346-349.
- [9] 叶定奇,刘俊新. 钛合金在水中兵器中的应用[J]. 材料开发 与应用, 2004, 12: 45-46.

YE Ding-qi, LIU Jun-xin. Application of titanium alloy in undersea weapons[J]. Material Development and Application, 2004, 12: 45–46.

[10] 陈杜娟,李佐臣,白保良,吴之乐.不同铁元素对 Ti500 合金 耐蚀性的影响[J]. 航空材料技术,2002(1):59-61.
 CHEN Du-juan, LI Zuo-chen, BAI Bao-liang, WU Zhi-le. The corrosion resistance properties of Ti500 alloy with different Fe contents[J]. Aerospace Material and Technology, 2002(1): 59-61.